



Centro Universitário de Brasília - UNICEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS
Curso: Engenharia Civil

BRUNO DA SILVA MOTA

PROTEÇÃO PASSIVA CONTRA FOGO EM ESTRUTURAS METÁLICAS EM PRÉDIO COMERCIAL

Brasília
2019

BRUNO DA SILVA MOTA

**PROTEÇÃO PASSIVA CONTRA FOGO EM ESTRUTURAS
METÁLICAS EM PRÉDIO COMERCIAL**

Trabalho de Curso apresentado
como um dos requisitos para a
conclusão do curso de Engenharia
Civil do UniCEUB - Centro
Universitário de Brasília.

Orientador: Eng.^a Civil Honório
Assis Filho, D.sc.

Brasília
2019

BRUNO DA SILVA MOTA

PROTEÇÃO PASSIVA CONTRA FOGO EM ESTRUTURAS METÁLICAS EM PRÉDIO COMERCIAL

Trabalho de Curso apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília.

Orientador: Eng.^a Civil Honório Assis Filho, D.sc.

Brasília, 2019.

Banca Examinadora

Honório Assis Filho, D.sc.
Orientador

Dr. Marcos Rafael Guassi
Examinador

Eng. Civil Calvin Mariano Rêgo Crispim
Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus.

Segundo, à minha família, pelo apoio, compreensão e incentivo.

Depois ao Prof. Honório Assis Filho, pela orientação a este trabalho.

Aos mestres pela paciência e esforço pela oferta do melhor conhecimento.

Aos amigos e colegas que de alguma forma me ajudaram.

Gratidão UniCEUB pela oportunidade!

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de elucidar sobre a proteção passiva contra fogo na estrutura de uma edificação comercial. É importante o estudo dos elementos estruturais em aço, visando uma maior segurança e resistência contra incêndios, para isso é necessário verificar quais os materiais que oferecem essa resistência de forma que possa haver o emprego correto de aplicação permitindo aumentar a resistência em relação ao fogo. Os materiais de proteção passiva são tão essenciais quanto o projeto estrutural objetivando evitar um possível colapso na edificação, haja vista que a temperatura crítica do aço é menor que a temperatura padrão de incêndio. Dessa forma, o estudo pautou-se a verificar as melhores alternativas para a concretização do projeto, que seja menos onerosa e eficiente no dimensionamento da proteção passiva de uma edificação comercial. Para a elaboração dessa pesquisa, foi analisado o comportamento do aço no que se refere ao fogo, por meio das curvas de incêndio padrão da ISO 834 *Fire Resistant Tests – Elements of Building Construction*, definindo a edificação de acordo com a NBR 14323/1999 – dimensionamento das estruturas de aço de edifício em situação de incêndio e NBR 14432/2001 - exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações, explicando os materiais conforme suas limitações e avaliando-os de acordo as cartas de cobertura e fórmulas de aproximação.

Palavras-chave: proteção passiva, incêndio, argamassa projetada, estruturas metálicas, revestimento contra fogo.

ABSTRACT

The present work has the objective to elucidate about the passive protection against fire in the structure of a commercial building. It is important to study the structural elements in steel, aiming at a greater safety and resistance against fires, so it is necessary to check which materials offer this resistance so that there can be the correct use of application allowing to increase the resistance in relation to fire. The passive protection materials are as essential as the structural design in order to avoid a possible collapse in the building, since the critical steel temperature is lower than the standard fire temperature. Thus, the study aimed to verify the best alternatives for the realization of the project, which is less costly and efficient in the design of the passive protection of a commercial building. For the elaboration of this research, the behavior of the steel with regard to the fire was analyzed, through the standard fire curves of the ISO 834 Fire Resistant Tests - Elements of Building Construction, defining the building according to NBR 14323/1999 - dimensioning of building steel structures in a fire situation and NBR 14432/2001 - fire resistance requirements of building elements of buildings, explaining the materials according to their limitations and evaluating them according to cover letters and approximation formulas.

Key-words: passive protection, fire, projected mortar, metal structures, fireproofing.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Fatores de redução para resistência e rigidez do aço a temperaturas elevadas**
- Figura 2 – Aplicação da argamassa projetada nas vigas**
- Figura 3 – Reação ao calor e criação de camada protetora**
- Figura 4 – Aplicação de Tinta Intumescente**
- Figura 5 – Sequência de eventos para o intumescimento da tinta na estrutura**
- Figura 6 – Sequência para aplicação da tinta na estrutura**
- Figura 7 – Mostra que um mesmo perfil pode ter diferentes fatores de formas**
- Figura 8 – Cálculo da espessura do revestimento**
- Figura 9 – Comportamento da curva temperatura-tempo dos gases em um incêndio real**
- Figura 10 – Curva do incêndio padrão**
- Figura 11 – Tempo equivalente pelo conceito temperatura máxima do aço**
- Figura 12 – Curva de incêndio padrão e curva de Hidrocarboneto**
- Figura 13 – Nomograma para estruturas sem proteção térmica**
- Figura 14 – Fachada Bloco Administrativo**
- Figura 15 – Corte Transversal da Edificação**
- Figura 16 – Bloco administrativo em fase de construção**
- Figura 17 – Fachada de vidro**
- Figura 18 – Circulação bloco administrativo**
- Figura 19 – Sala técnica**
- Figura 20 – Teste UL D902**

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Classificação das edificações quanto à sua ocupação**
- Tabela 2 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minuto**
- Tabela 3 – Edificações isentas de verificação de resistência ao fogo**
- Tabela 4 – Tabela de elevação de temperatura**
- Tabela 5 – Propriedades típicas de materiais isolantes**
- Tabela 6 – Vantagens e Desvantagens das argamassas projetadas**
- Tabela 7 – Vantagens e Desvantagens tinta intumescente**
- Tabela 8 – Carta de cobertura da tinta intumescente**

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm	centímetros
mm	milímetros
NBR	Norma Brasileira Registradas
RC	Resíduos de Construção e Demolição
RCC	Resíduos de Construção Civil
EUROCODE	Código Europeu – Normas Europeias
IT	Instrução Técnica
UL	<i>Underwriters Laboratories</i>
ISO	ISSO 834 – <i>International Organization for Standardization</i>
CBMDF	Corpo de Bombeiros do Distrito Federal
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
BS476	<i>British Standard 476 Fire Tests</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

FF	Fator de Massividade – m^{-1}
m	Metro
TRRF	Tempo requerido de resistência ao fogo
mm	Milímetros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo geral.....	13
2.2 Objetivos específicos	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1 Objetivos de segurança contra incêndio.....	14
3.2 Fundamentação legal.....	14
3.3 Estruturas metálicas em situação de incêndio.....	15
3.4 Princípio da proteção passiva em estruturas de construção.....	20
3.5 Comportamento do aço em relação ao fogo.....	20
3.5.1 Temperatura Crítica	20
3.5.2 Propriedades mecânicas do aço em temperaturas elevadas.....	21
3.6 Materiais de proteção térmica	22
3.6.1 Uso de materiais de proteção térmica	23
3.7 Dimensionamento dos materiais de proteção térmica	29
3.8 Modelamento de incêndios	31
4 METODOLOGIA	36
5 ANÁLISES E RESULTADOS.....	38
5.1 Análise da caracterização da edificação	38
5.2 Definição do material mais adequado para o projeto.....	39
5.3 Cálculo da espessura da argamassa de baixa densidade.....	42
5.4 Cálculo da espessura da tinta intumescente	43
6 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46
ANEXO I – Pavimento superior.....	48
ANEXO II – Fator de Massividade para alguns elementos estruturais com revestimento contra fogo (extraída na NBR 14323)	49

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o uso de estrutura metálica vem crescendo gradativamente no Brasil, devido sua notável propriedade, abundância das matérias-primas necessária, a sua produção e o seu preço competitivo. O aço é uma liga de natureza relativamente complexa e sua definição não é simples, haja vista que os aços comerciais não são ligas binárias. Afinal eles contêm elementos secundários, além do ferro e o carbono, presentes devido aos processos de fabricação. Dessa forma, pode-se definir o aço como sendo uma liga Ferro-Carbono, contendo geralmente de 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além do silício, manganês, fósforo e enxofre (PANNONI, 2008).

O incêndio é um dos piores acidentes que podem ocorrer em uma edificação. As medidas de proteção e combate a incêndio em edificações com foco na proteção passiva, começaram a ser aplicadas no Brasil na indústria, a partir de 2001, quando foram criadas as Instruções Técnicas (Its) do Corpo de Bombeiros de São Paulo, em 2013 a Norma de Desempenho das Edificações e essas soluções chegaram até os edifícios comerciais.

Nesse sentido, a proteção passiva não permite que um incêndio se propague pelos ambientes, compartimentando-os, e protege as estruturas das edificações. O estudo visa tratar sobre a proteção passiva em estruturas metálicas, conhecida por *fireprotection* ou *passive fire protection (PFP)*. O aço, a 550° perde 40% da sua resistência e as estruturas entram em colapso. Então é preciso proteger as estruturas metálicas para que resistam a um incêndio por um determinado tempo, podendo ser de 30 minutos, 60min, 90 min ou 120min, conhecidamente como Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) (PEIXOTO, 2017).

Entre as técnicas mais utilizadas como proteção em estruturas metálicas são a pintura intumescente e a argamassa projetada.

A construção em aço estrutural pode ser até três vezes mais rápida e gerar menores custos totais que em construção com a utilização de concreto. Levando em consideração nos casos de obras como hospitais, shopping centers, universidades e aeroportos, todas as contas são consideradas antes do início das obras, o tempo de locação de maquinários, a menor necessidade de mão de obra, e apesar de o concreto

ser um material de proteção passiva devido sua durabilidade, não apresenta vantagem porque tem-se um grande custo, tempo de aplicação e a redução do interno da edificação. Assim, é importante a compatibilização entre o custo da segurança para proteção ao incêndio e o custo do empreendimento.

Nessa pesquisa serão abordadas algumas formas de proteção passiva ao fogo em estruturas metálicas, limitando tratar sobre proteções térmicas dos elementos estruturais em aço nos projetos de edificações comerciais, de forma que a escolha do material contribua para o melhor custo-benefício da empresa.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente estudo é explicar os pontos fundamentais do dimensionamento da proteção passiva contra fogo nos elementos estruturais, como lajes, vigas, pilares e contraventamentos, de uma edificação comercial.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Desenvolver por meio de revisão bibliográfica, os conceitos e análise dos quesitos de segurança contra o fogo e os principais estudos referentes ao tema;
- Explanar o correto dimensionamento da proteção passiva contra fogo;
- Confrontar material adotado no estudo em relação as normas brasileiras.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Objetivos de segurança contra incêndio

As estruturas metálicas em situação de incêndio motivam de forma abrangente os projetos de segurança. O atendimento dos requisitos de segurança contra incêndio são estabelecidos nas Normas Brasileiras, principalmente Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), mediante a Norma Brasileira Registrada (NBR) 14323/1999 – Dimensionamento de estruturas de edifícios em situação de incêndio, procedimento (NBR) 14432/2001 – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – procedimento.

Estas normas visam definir “as condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e de compartimentação que integram os edifícios para que, em situação de incêndio, seja evitado o colapso estrutural” (ABNT, 2008).

3.2 Fundamentação legal

É recente no Brasil as tratativas sobre proteção passiva em estruturas metálicas. No ano de 1992 com início das construções de edifícios de diversos andares em estruturas de aço, especificamente da Edificação do Instituto Itaú Cultural, com endereço na Avenida Paulista e o Centro Empresarial do Aço, levantado no Bairro Jabaquara/São Paulo (ABNT, 2008).

Já no ano de 1994, através de consulta pública foi disposta uma legislação nacional pioneira para delimitação das edificações estruturadas em aço, sendo uma adaptação da norma regulamentadora do mercado Europeu por mais de 100 anos (EUROCODE).

A legislação vigente para a proteção de estruturas metálicas está regulada por meio de leis criadas em cada estado, onde um detalhamento maior é encontrado nas instruções técnicas do Corpo de Bombeiros do próprio estado. Em 2006, São Paulo publicou a Instrução Técnica (IT) 08 do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (CBMSP) – Segurança Estrutural, sendo utilizada e servindo de referência para os demais estados do Brasil. No Distrito Federal tem-se a Norma Técnica (NT) 002/2009,

que regulamenta sobre os riscos e o distanciamento mínimo entre as edificações para serem consideradas isoladas no dimensionamento dos sistemas de proteção contra incêndio e pânico.

O Estado de São Paulo foi o primeiro a tratar sobre o assunto da segurança contra incêndio das edificações, mas pelo Corpo de Bombeiros ser uma instituição estadual, a legislação publicada pelo órgão em 2006 serve somente para este Estado. No entanto, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresentou em 1998 a NBR 14.432 – Exigências de resistência ao fogo dos elementos construtivos das edificações – Procedimento, com âmbito nacional, regularizando o mercado brasileiro até o momento.

Em 1972, em São Paulo ocorreu um incêndio no Edifício Andraus por não haver compartimentação vertical, e logo após em 1974 o edifício Joelma, que vitimou quase 200 pessoas (não havia escada de incêndio). Criou-se em 1979, o Laboratório de Ensaio ao Fogo, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Cita-se esses incêndios porque foi a razão pela qual surgiu legislação que regulamentasse as edificações com relação à segurança contra incêndio (ANDRADE, 2010).

No que se refere ao Distrito Federal (DF), tem-se a Norma Técnica 002 – Classificação das edificações de acordo com os riscos. Em paralelo, a Norma Técnica 001/2002 do Corpo de Bombeiros – Exigências de sistemas de proteção contra incêndio e pânico das edificações do DF, além do Regulamento de segurança contra incêndio e pânico do CBMDF, aprovado pelo Decreto nº 21.361, de 20 de julho de 2000, que estabelece as principais diretrizes para a construção de edificação, em relação a segurança contra incêndio.

3.3 Estruturas metálicas em situação de incêndio

Em 2000, surge documento normativo que estabelece um intervalo de tempo em que um sistema estrutural, garantisse capacidade para preservação de vidas em situação de incêndio. Em vista disso, o Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF), assentado na NBR nº 14.432 corresponde a um intervalo de tempo de exposição ao incêndio padrão, é definido pelas características da construção e do seu

uso. O calor transmitido à estrutura nesse intervalo de tempo gera, em cada elemento estrutural uma certa distribuição de temperatura, conforme sua forma e exposição ao fogo. Esse TRRF é definido subjetivamente pelas experiências de profissionais da área de segurança contra incêndio, não se representa a duração do incêndio nem o tempo necessário à evacuação das pessoas da edificação sinistrada.

Tabela 1 – Classificação das edificações quanto à sua ocupação

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Descrição	Exemplos
A	Residencial	A-1	Habitações unifamiliares	Casas térreas ou assobradadas, isoladas ou não
		A-2	Habitações multifamiliares	Edifícios de apartamento em geral
		A-3	Habitações coletivas	Pensionatos, internatos, mosteiros, conventos, residenciais geriátricos
B	Serviços de hospedagem	B-1	Hotéis e assemelhados	Hotéis, motéis, pensões, hospedarias, albergues, casas de cômodos
		B-2	Hotéis residenciais	Hotéis e assemelhados com cozinha própria nos apartamentos (incluem-se apart-hotéis, hotéis residenciais)
C	Comercial varejista	C-1	Comércio em geral, de pequeno porte	Armarinhos, tabacarias, mercearias, fruteiras, butiques e outros
		C-2	Comércio de grande e médio portes	Edifícios de lojas, lojas de departamentos, magazines, galerias comerciais, supermercados em geral, mercado e outros
		C-3	Centros comerciais	Centro de compras em geral (<i>shopping centers</i>)
D	Serviços profissionais pessoais e técnicos	D-1	Locais para prestação de serviços profissionais ou condução de negócios	Escritórios administrativos ou técnicos, consultórios, instituições financeiras (que não estejam incluídas em D-2), repartições públicas, cabeleireiros laboratórios de análises clínicas sem internação, centro profissionais e outros
		D-2	Agências bancárias	Agências bancárias e assemelhados
		D-3	Serviços de reparação (exceto os classificados em G e I)	Lavanderias, assistência técnica, reparação e manutenção de aparelhos eletrodomésticos, chaveiros, pintura de letreiros e outros
E	Educacional e cultura física	E-1	Escolas em geral	Escolas de primeiro, segundo e terceiro graus, cursos supletivos e pré-universitário e outros
		E-2	Escolas especiais	Escolas de artes e artesanato, de línguas, de cultura geral, de cultura estrangeira e outras
		E-3	Espaço para cultura física	Locais de ensino e/ou práticas de artes marciais ginástica (artística, dança musculação e outros) esportes coletivos (tênis, futebol e outros que não estejam incluídos em F-3), sauna, casas de fisioterapia e outros
		E-4	Centros de treinamento profissional	Escolas profissionais em geral
		E-5	Pré-escolas	Creches, escolas maternais, jardins-de-infância
		E-6	Escolas para portadores de deficiências	Escolas para excepcionais, deficientes visuais e auditivos e outros
F	Locais de reunião pública	F-1	Locais onde há objetos de valor inestimável	Museus, centros de documentos históricos e outros
		F-2	Templos e auditórios	Igrejas, sinagogas, templos e auditórios em geral
		F-3	Centros esportivos	Estádios, ginásios e piscinas cobertas com arquibancadas, arenas em geral
		F-4	Estações e terminais de passageiros	Estações rodoferroviárias, aeroportos, estações de transbordo e outros
		F-5	Locais de produção e apresentação de artes cênicas	Teatros em geral cinemas, óperas, auditórios de estúdios de rádio e televisão e outros

Os materiais estruturais devem ser projetados verificando a redução da resistência a altas temperaturas, a temperatura que causa o colapso de um elemento estrutural, é chamada de temperatura crítica (SILVA e VARGAS, 2010).

A classificação considera o tipo de uso/ ocupação, altura e total de metros quadrados construídos para especificar 30, 60, 90 ou 120 minutos de resistência das partes estruturais. Quanto maior a resistência requerida, maior a temperatura que a estrutura deve resistir.

Tabela 2 – Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF), em minuto

Grupo	Ocupação/uso	Divisão	Profundidade do subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h _s > 10 m	Classe S ₁ h _s ≤ 10 m	Classe P ₁ h ≤ 6 m	Classe P ₂ 6 m < h ≤ 12 m	Classe P ₃ 12 m < h ≤ 23 m	Classe P ₄ 23 m < h ≤ 30 m	Classe P ₅ h > 30 m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e cultura física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 e F-8	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Fonte: NBR nº 14.432/2001

Na próxima tabela apresenta-se as edificações que ficam isentas de verificação de resistência ao fogo. Na aplicação das isenções, é necessário a observância das exigências de medida de proteção passiva e ativa, contidas nas normas brasileiras em vigor e de regulamentos de órgãos públicos. Às edificações que não se enquadram na isenção utilizar-se-á um revestimento térmico adequado.

Tabela 3 – Edificações isentas de verificação de resistência ao fogo

Área	Uso	Carga de Incêndio específica	Altura	Melos de proteção
$\leq 750 \text{ m}^2$	Qualquer	Qualquer	Qualquer	
$\leq 1500 \text{ m}^2$	Qualquer	$\leq 1000 \text{ MJ/m}^2$	$\leq 2 \text{ pav.}$	
Qualquer	Centros esportivos Terminais de pass.	Qualquer	$\leq 23 \text{ m}$	
Qualquer	Garagens abertas	Qualquer	$\leq 30 \text{ m}$	
Qualquer	Depósitos	Baixa	$\leq 30 \text{ m}$	
Qualquer	Qualquer	$\leq 500 \text{ MJ/m}^2$	Térrea	
Qualquer	Industrial	$\leq 1200 \text{ MJ/m}^2$	Térrea	
Qualquer	Depósitos	$\leq 2000 \text{ MJ/m}^2$	Térrea	
Qualquer	Qualquer	Qualquer	Térrea	Chuveiros automáticos
$\leq 5000 \text{ m}^2$	Qualquer	Qualquer	Térrea	Fachadas de aproximação

Fonte: Silva (2010).

As Instruções Técnicas dos Corpos de Bombeiros e também os Decretos Estaduais são do âmbito estadual, no entanto, nem todos Estados têm essas legislações efetivamente aprovadas. A ABNT então elaborou uma NBR que regula esse mercado no âmbito federal por meio do PE 043.002 de 2008, regulamentando toda a parte de aplicação e produtos de proteção passiva contra fogo. No Brasil, a exigência de regulamentação dos materiais deveria acontecer em todas as obras que precisem destes trabalhos, como acontece com o concreto estrutural.

O que afeta a qualidade final da proteção contra fogo em estruturas no Brasil, é a questão da maturação e tradição dos produtos:

a) Não existe especificação padronizada para os materiais de revestimento contra fogo, como existe nos Estados Unidos a *American Institute of Architects (AIA)*, que criou cadernos de especificações para tintas intumescentes, argamassas projetadas e materiais pré-formados. São especificações simples, mas abrangentes, que abordam todos os itens a serem considerados na escolha de um produto, de forma a garantir não só o seu desempenho, mas também sua durabilidade (SANTOS, 2017, p. 16).

b) Como não existe padronização dessas especificações no Brasil, e como o conhecimento geral ainda é reduzido devido à história recente desse mercado, o resultado são arquitetos e engenheiros consumindo tempo excessivo e desnecessário

para pesquisar e montar suas próprias especificações, que na maioria das vezes, mostram-se insuficientes para fundamentar uma concorrência comercial de alto nível. Isso acaba possibilitando a aquisição e utilização de produtos inadequados e permitindo que esses sejam aplicados de maneira incorreta (SANTOS, 2017, p. 17).

Para a proteção estrutural deve ser aplicado produtos em atendimento a quantidade mínima de ensaios de resistência ao fogo no qual permitirá um correto dimensionamento dessa proteção. Entidades independentes que visam a elaboração de especificações nacionais contribuem no mercado da construção metálica, uma vez que influencia na padronização em um nível satisfatório das exigências para a execução da proteção contra fogo em edifícios de aço (PERUCCELO, 2017).

O ideal é aplicar os produtos para proteção estrutural de maneira correta. Não basta só o conhecimento e evoluções tecnológicas, tanto é que a inspeção por laboratório ou profissional independente gera ganhos de serviços de proteção nesse sentido, o que gera confiabilidade no seu desempenho (DIAS, 2002).

Em relação ao custo da proteção passiva contra fogo, era algo que trazia prejuízos à construção metálica frente ao concreto, porque as opções dos produtos para proteção no mercado eram basicamente de concretos de alta densidade, mantas, placas fibrosas e tintas intumescentes. Atualmente, como alternativa tem-se as argamassas projetadas de baixa densidade, que possuem custos menores em face desses materiais, representando em torno de 10% a 15% do custo das estruturas metálicas.

Porém, para a escolha do material de proteção passiva das estruturas não deve se levar em consideração apenas o custo. Na verdade, o projeto arquitetônico é o que mais vai influenciar, haja vista que as argamassas projetadas de baixa densidade têm aspecto grosseiro e pouca resistência a agravos mecânicos e conjunto de processos químicos e biológicos que geram a alteração e a decomposição das rochas e minerais, o que impede sua aplicação em estruturas expostas. Destaca-se opção para a tinta intumescente quando em elementos como colunas de estacionamentos, estruturas internas, perfis aparentes de fachada, onde a arquitetura não prevê forros falsos ou outros acabamentos, por ser material mais resistente e bonito.

3.4 Princípio da proteção passiva em estruturas de construção

Proteção passiva contra incêndio são soluções incorporadas ao sistema construtivo de uma edificação, formada por um conjunto de materiais resistentes ao fogo, principalmente como argamassa projetada e tinta intumescente em estruturas metálicas. Visa compartimentar o foco do incêndio no local de origem evitando a propagação das chamas, calor e fumaça, evitando o colapso da edificação (ABRACOPEL, 2014).

O seu dimensionamento refere-se à análise simplificada da identificação do perfil e a função estrutural de uma construção. À vista desses elementos estruturais, quais sejam, lajes, vigas, pilares e contraventamentos, passa-se à definição da temperatura crítica, convencionada pelo EUROCODE 1 (ISO 834).

3.5 Comportamento do aço em relação ao fogo

A alta temperatura, presente em situação de incêndio, gera sensibilidade do aço estrutural, sua temperatura é padronizada em 1.100°C. Então, temperaturas superiores a 650°C faz com que o aço estrutural tenha seu limite de escoamento bem reduzido, o intuito do tratamento térmico é evitar que os elementos estruturais cheguem a esta temperatura, mantendo a integridade da edificação (SANTOS, 2017).

A resistência do aço frente ao fogo, é conhecido como Fator de Massividade, o qual terá que ser realizado cálculo para cada perfil estrutural da edificação, de forma a se comparar depois às tabelas dos fabricantes dos materiais de proteção térmica, para a obtenção da espessura correta do material a ser utilizado (SANTOS, 2017).

3.5.1 Temperatura Crítica

Segundo Silva (2010) durante um incêndio a temperatura que causa o colapso de um elemento estrutural, chama-se temperatura crítica.

Os fatores que influenciam o aumento da temperatura do aço são:

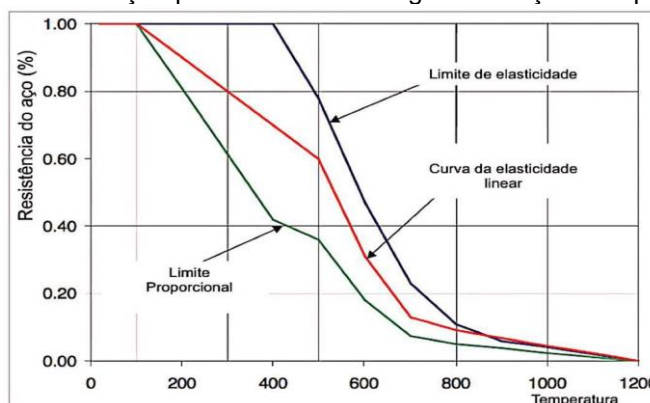
a) Fator de massividade (fator de forma), ou seja, a relação entre a área de superfície exposta à energia emitida pelo incêndio e a massa do perfil por unidade de comprimento;

b) Propriedades térmicas de um material de proteção contra incêndio, ou seja, a condutividade térmica, o seu calor e a sua espessura. Os produtos e suas especificações são obtidos pelos laboratórios de ensaio aprovados de cada país ou institutos especializados, sendo estes oficialmente aprovados. O desenho é determinado pelas tabelas estabelecidas pelos testes dos produtos de proteção escolhido (ISO 834).

3.5.2 Propriedades mecânicas do aço em temperaturas elevadas

Conforme varia a temperatura, as propriedades do aço mudam. Verifica-se na figura a seguir, que uma temperatura próxima de 400°C, sua resistência cai para 70% referente a temperatura ambiente; que para uma temperatura aproximada de 500°C, sua resistência mecânica se aproxima em 60% em relação à temperatura ambiente. Desta feita, o intuito da proteção passiva é evitar que se alcance as temperaturas críticas (SILVA, 2006).

Figura 1 – Fatores de redução para resistência e rigidez do aço a temperaturas elevadas



Fonte: Haller, 2006.

A ASTM E 119 e a ISO 834, informam que os pilares possuem temperaturas críticas sendo 550°C e 620°C para vigas. Há um projeto específico em que as temperaturas críticas podem ser modificadas, verifica-se a variação da temperatura da laje por meio da espessura, momento fletor resistente, compressão do concreto da laje, força resistente do conector de cisalhamento, entre outros.

Aquece-se um perfil metálico, simulando sua função estrutural, com momentos, cargas, através da elaboração da carta de cobertura em função das temperaturas críticas dos perfis, assim, são incluídos termopares para que sejam feitas as leituras da elevação da temperatura destes perfis, é isolado com material de proteção térmica, representando a elevação de temperatura de acordo com o que padroniza a curva padrão de incêndio, conforme tabela a seguir:

Tabela 4 – Tabela de elevação de temperatura

Tempo (min)	Curva Padrão T - To (°C)	Tempera- tura média do forno T'-To (°C)	Temperatura da face não exposta ao fogo (°C)													Deform. (mm)**
			Pto 1	Pto 2	Pto 3	Pto 4	Pto 5	Pto 6	Pto 7	Pto 8	Pto 9	Pto 10	Pto 11	Pto 12	Média 1 a 9*	
5	556	552	20	20	20	20	20	21	20	20	20	20	20	20	21	3
10	658	676	21	21	21	21	20	22	21	20	20	21	21	22	21	5
15	719	776	27	23	25	23	21	34	26	22	21	25	26	32	25	5
20	761	727	37	34	34	27	26	48	35	28	23	33	37	42	33	3
25	795	786	48	51	47	40	43	60	49	43	32	45	55	55	46	1
30	822	849	56	62	57	53	57	67	58	55	47	57	63	63	57	9
35	845	875	61	67	63	60	63	70	63	63	57	64	67	67	63	20
40	865	900	64	69	66	64	65	71	66	67	63	70	72	69	67	29
45	882	862	66	69	69	67	66	72	68	68	66	73	77	71	68	35

Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) 1984

3.6 Materiais de proteção térmica

Para evitar patologias, como fissuras ou desprendimentos, os materiais precisam apresentar baixa massa específica, alto calor específico, baixa condutividade térmica, custo compatível, acompanhando o movimento da estrutura. É preciso que a durabilidade seja conforme à vida útil da estrutura que dispense manutenção e possibilite facilidade para reparos. Não pode haver tendência a absorver água para garantir que o aço não receba umidade (higroscópicos), mas é necessário o uso de “primers” ou de outros produtos anticorrosivos nas estruturas internas para não agravar a corrosão. Não devem conter espaços vazios, empatando que insetos se instalem no seu interior (SOARES, 2014).

No final do século XX, iniciou-se a utilização dos materiais projetados, com a utilização de materiais cimentícios e gesso hidratado, combinado com fibras (GERKEN, 2007, p. 106).

Hoje em dia os materiais que mais se utilizam são as argamassas e as tintas intumescentes devido melhor custo/ benefício, com exceção em edificações em funcionamento, onde se utilizam mantas e placas porque são materiais que mais se adequam uma vez que são inodoros, causam pouco transtorno e sujeira. Mas não são tão recomendadas essa aplicação de proteção térmica devido ao alto custo de aplicação, diferente da argamassa projetada que precisa apenas de uma etapa para sua total instalação.

3.6.1 Uso de materiais de proteção térmica

Propriedade térmica de um material apresenta-se como sendo as características e comportamento deste quando submetido ao calor. Para verificação da evolução da temperatura e transposição do calor e para escolha e dimensionamento das espessuras dos elementos de proteção térmica para estruturas de aço, deve ser observado o seguinte: o calor específico, massa específica de cada material e a condutividade térmica. A tabela abaixo mostra os valores médios para as propriedades típicas de materiais isolantes.

Tabela 5 – Propriedades típicas de materiais isolantes

Material	Massa Específica (kg/m³)	Condutividade Térmica (W/m°C)	Calor Específico (J/kg °C)
Fibra mineral projetada	250 - 300	0,1	1100
Placas de perlita ou vermiculita	300 - 800	0,15	1100
Folhas de silicato de amianto	800	0,15	1100
Folhas de silicato fibroso	450 - 900	0,15	1100
Placas de gesso	800	0,2	1700
Placas de lã mineral	120 - 150	0,25	1100
Concreto celular	600	0,3	1200
Concreto celular	1000	0,45	1200
Concreto celular	1300	0,65	1200
Concreto leve	1600	0,8	1200
Tijolo cerâmico	2000	1,2	1200
Concreto de densidade normal (de agregado predominantemente amorfo)	2200 - 2400	1,3	1200
Concreto de densidade normal (de agregado predominantemente amorfo)	2200 - 2400	1,7	1200
Mantas de fibras minerais	100 - 500	0,23 - 0,25	1500
Mantas cerâmicas	61 - 92	0,10 - 0,25	1067
Argamassa de fibras minerais	200 - 350	0,08 - 0,10	1050
Argamassa de gesso	500 - 800	0,20 - 0,23	1700

Fonte: Soares (2002).

Observa-se, através desses dados a apresentação de concretos celulares com diferentes massas específicas, implicando diretamente no aumento da condutividade

térmica dos materiais, e, ainda, que os isolantes térmicos com baixa massa específica possuem baixa condutividade térmica.

A argamassa projetada é o material frequentemente mais utilizado, devido seu menor custo agregado, deixando os perfis estruturais ocultos por forros falsos ou qualquer outro tipo de acabamento, e a tinta intumescente fica sendo utilizada nos perfis que realmente fazem parte da arquitetura e que ficarão expostos, essa tinta tem maior valor agregado, dependendo da concepção da edificação e o tempo de proteção passiva, porém é o material que possibilita que a estrutura metálica seja totalmente exposta (SANTOS, 2017, p. 23).

Na norma NBR 14432 tem-se a exigência de proteção de 90 minutos para as estruturas de edifícios com altura superior a 23 m e proteção de 120 minutos para edifícios com altura acima de 30 m, de forma que a utilização da tinta intumescente pode custar 10 vezes mais que o valor da proteção com argamassas projetadas.

As tintas intumescentes são as mais recomendadas entre os materiais de proteção passiva nas estruturas metálicas, porque permitem a criação de projetos arrojados, deixando em evidência a beleza do aço aparente. No entanto, possui custo mais elevado que a argamassa projetada.

Para utilização dessas tintas não há restrição desde que se façam ensaios em laboratórios reconhecidos internacionalmente e sejam aceitos pelo Corpo de Bombeiros em atendimento a NBR 14432 – Exigências de Resistência ao Fogo dos Elementos Construtivos das Edificações. Quer dizer que sendo ela dimensionada e aplicada corretamente, se alcançará a proteção da estrutura por um determinado tempo de resistência requerido ao fogo (TRRF).

Para se ter um melhor desempenho que garanta o mesmo nível de proteção com espessuras e consumos menores, representando um menor custo de proteção, sendo a espessura de proteção necessária, é o parâmetro fundamental para determinar o custo/m² da tinta intumescente. Lembrando sempre, que é importante a comprovação dos testes físicos dos materiais empregados.

Os fatores de massividade variam de 50 a 360m⁻¹ e o tempo de proteção varia de 30 a 240 minutos (SANTOS, 2017).

3.6.1.1 Argamassa projetada

A nomenclatura argamassa projetada se justifica pela forma de aplicação do material, que é aplicado por jateamento, são de baixo custo e de bom desempenho, só que não se dão com bom acabamento estético por possuírem aspecto de chapisco.

Cafco (2006) explica que esses materiais são os mais utilizados para a proteção de estruturas metálicas no mundo todo, tendo sido inclusive usado na proteção passiva estrutural do *World Trade Center*.

Já Mendes (2004) ensina que para estes materiais deve-se atender as exigências estabelecidas pelos órgãos internacionais de normatização, onde se observam propriedades físicas e recomendações essenciais.

Figura 2 – Aplicação da argamassa projetada nas vigas



Fonte: arquivo pessoal, 2018.

Nas argamassas projetadas sua durabilidade deverá ser a mesma da estrutura, não promovendo nenhum tipo de ataque corrosivo ao aço, apresentando índice zero de combustibilidade e propagação de chamas. As principais vantagens e desvantagens das argamassas de alta e baixa densidade são:

Tabela 6 – Vantagens e Desvantagens das argamassas projetadas

Vantagens	Desvantagens
Menor custo dentre todos os materiais	Aspecto visual rústico
Maior velocidade de aplicação	Baixa resistência a impactos mecânicos
Dispensa necessidade de tratamento superficial e primer	Não resistem a intemperismos
Durabilidade equivalente à vida útil da edificação	30 dias para secagem

Fonte: Dias, 2002.

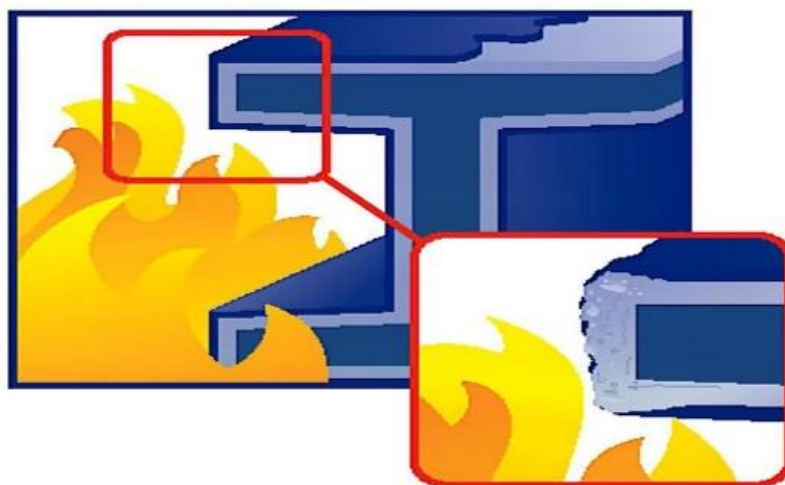
As argamassas devem ser aplicadas imediatamente após concretagem das lajes. Se aplicar depois pode implicar na diminuição da produtividade, porque pode haver interferências com outras etapas da obra além de custos com limpeza (PANNONI, 2007).

Os materiais se diferem quanto a base desse material, quais sejam, fibra mineral (argamassa de baixa densidade seca), apresenta poros devido às fibras, sendo ótimo para propriedades acústicas. E a base de gesso, vermiculita ou polipropileno (argamassa de baixa densidade úmida), dependendo do fabricante, sua densidade está em torno de 300 kg/m³.

3.6.1.2 Tinta Intumescente

As tintas intumescentes foram criadas para reagir ao calor gerado durante o incêndio, intumescendo-se e criando uma barreira capaz de proteger o aço da ação do calor dos gases quentes, a partir de 200°C se expandem gerando uma camada de espessura rígida que protege a estrutura de aço dos gases quentes (GERKEN, 2007, p. 99) de acordo com a figura abaixo.

Figura 3 – Reação ao calor e criação de camada protetora



Fonte: Gerken, 2007.

Figura 4 – Aplicação de Tinta Intumescente



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

O que difere a tinta intumescente das tintas convencionais é a quantidade de demãos que são aplicadas devido a espessura dimensionada. Chegam a ter espessuras até 8.000 micrômetros para edifícios comerciais e pode chegar até 15 mm de espessura quando aplicadas nas áreas de petroquímicas, ambos os materiais precisam dos respectivos testes de fogo e testes físicos (PCF, 2007).

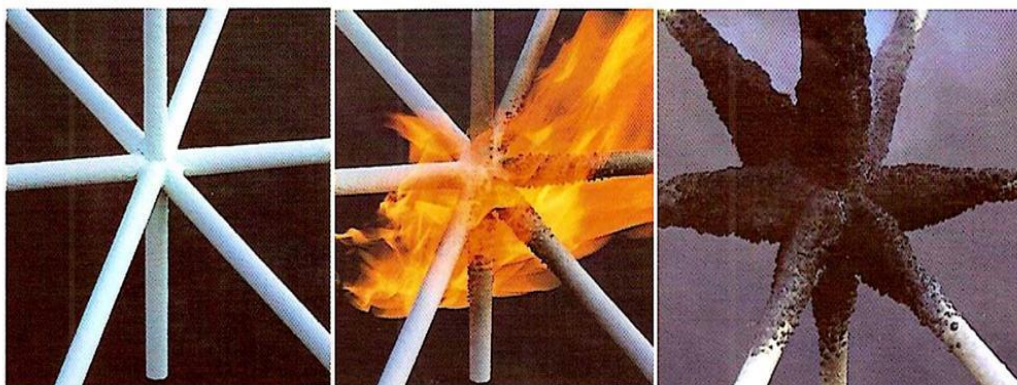
Tabela 7 – Vantagens e Desvantagens tinta intumescente

Vantagens	Desvantagens
Boa aparência	Curto pode ser elevado
Cobertura de detalhes complexos	Sensíveis às condições climáticas adversas
Não toma espaço ou adiciona peso	Não competitiva para altos TRRF's
Aplicação Rápida	

Fonte: Pannoni, 2007.

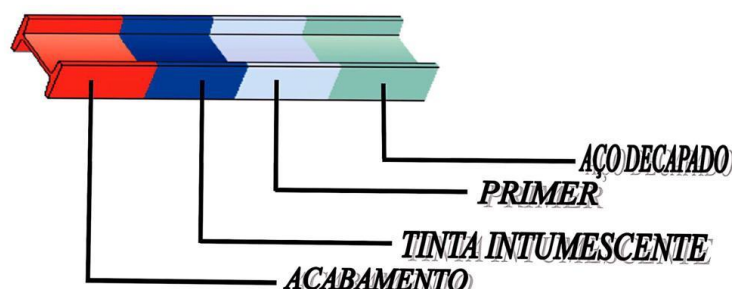
A aplicação da tinta intumescente requer que a base da estrutura de aço seja devidamente limpa e aplicado sobre ela um *primer* compatível com a pintura, depois pode ser recoberta por uma película acrílica ou poliuretânica, o que aumenta sua resistência química e física melhorando seu acabamento final, outro fator que se deve levar em consideração é o ambiente no local da aplicação, uma vez que a temperatura do aço e do ambiente não podem estar abaixo de 5,0°C e a umidade relativa do ar deve necessariamente estar abaixo de 80%.

Figura 5 – Sequência de eventos para o intumescimento da tinta na estrutura



Fonte: Pannoni, 2007.

Figura 6 – Sequência para aplicação da tinta na estrutura



Fonte: Pannoni, 2007.

3.7 Dimensionamento dos materiais de proteção térmica

O dimensionamento da proteção passiva contra fogo de estruturas metálicas é normalizado pela NBR 14323 e necessariamente deve ser realizado através da análise individual da massividade de cada elemento que compõe o projeto estrutural, já que perfis com dimensões distintas terão comportamentos diferentes em situação de incêndio. O índice de massividade pode ser influenciado por diversos fatores, seja alvenaria, painéis, paredes de *dry wall*, cada elemento inserido e em contato com o perfil, poderá ou não mudar a sua resistência em relação ao fogo (SANTOS, 2017, p. 29).

As espessuras necessárias de cada material de proteção, são verificadas pelas tabelas das Carta de Cobertura, realizada por ensaios em barras verticais com os quatro lados expostos ao incêndio, pelo IPT no Brasil, em função do fator de massividade do perfil de aço e do TRRF, considerando uma temperatura preestabelecida.

Fator de massividade ou fator de forma diz respeito a característica geométrica do elemento submetido ao ensaio. É feito pela relação entre sua área exposta ao fogo e o volume do elemento. Este representa a relação entre a quantidade de calor fornecido ao perfil pelas chamas e a quantidade de material a ser aquecido (SILVA, 2010).

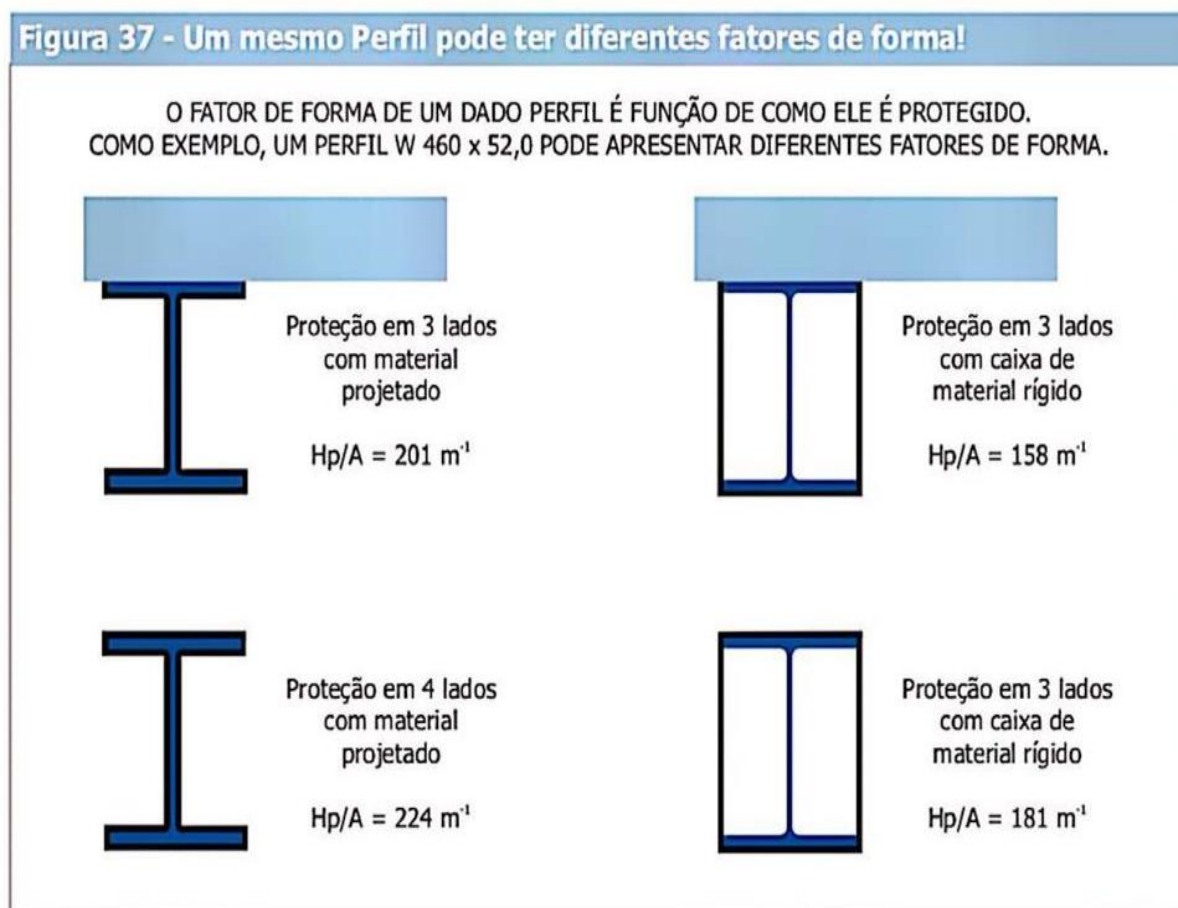
O fator massividade pode ser estendido a outras situações além dos elementos com distribuição uniforme de temperatura, uma vez que uma ou mais faces dos perfis estão protegidas por lajes ou paredes.

Fator de massividade = u/A , expresso usualmente em m^{-1}

Em edifícios, o fator de massividade das vigas de aço é menor que o dos pilares, por apresentarem uma face a menos exposta ao fogo, por conta da presença das lajes (ALVA, 2000).

A próxima figura evidencia quatro configurações de proteção para uma viga W 460 X 52,0. Para se determinar a espessura da proteção por argamassa projetada (em três lados), por um período de 1 hora, deve-se de início definir o fator de massividade da viga. Depois, verificar na Carta de Cobertura do fabricante do material, a espessura recomendada.

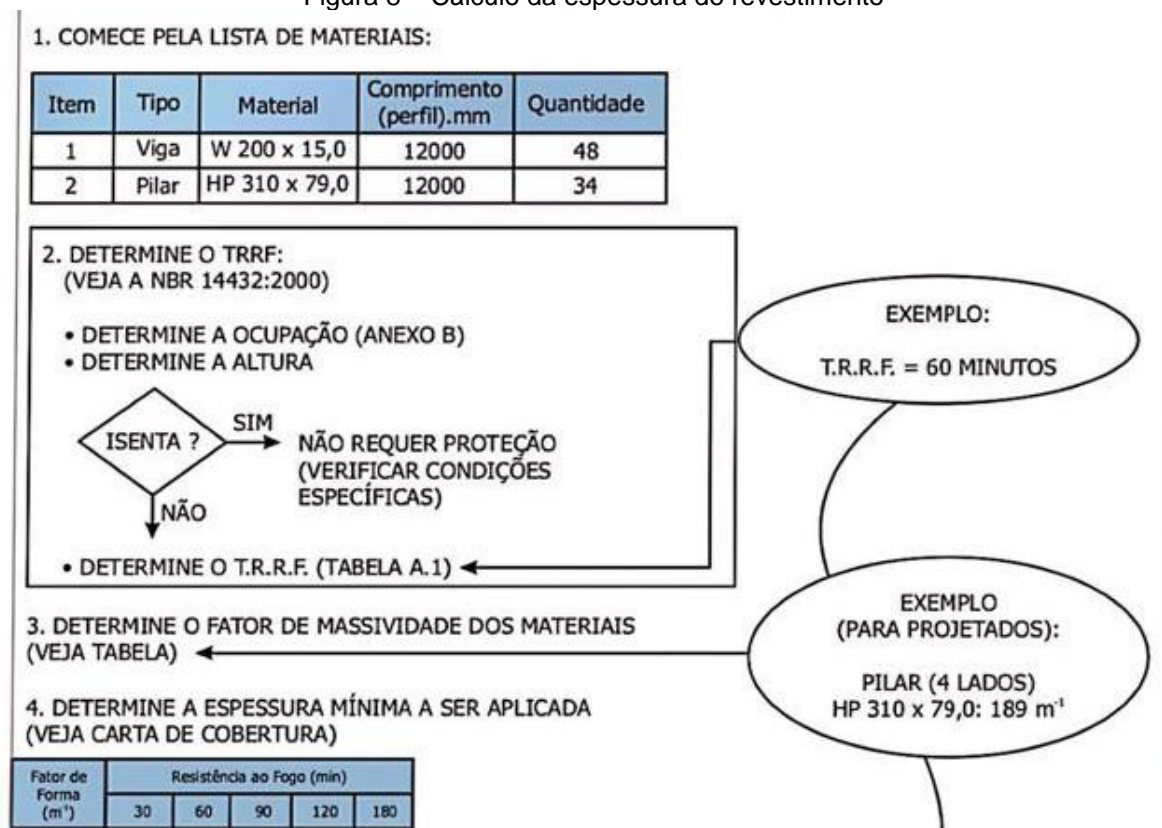
Figura 7 – Mostra que um mesmo perfil pode ter diferentes fatores de formas



Fonte: Pannoni, 2007.

A seguir mostra-se um procedimento de cálculo da espessura do revestimento.

Figura 8 – Cálculo da espessura do revestimento



Fonte: Pannoni, 2007.

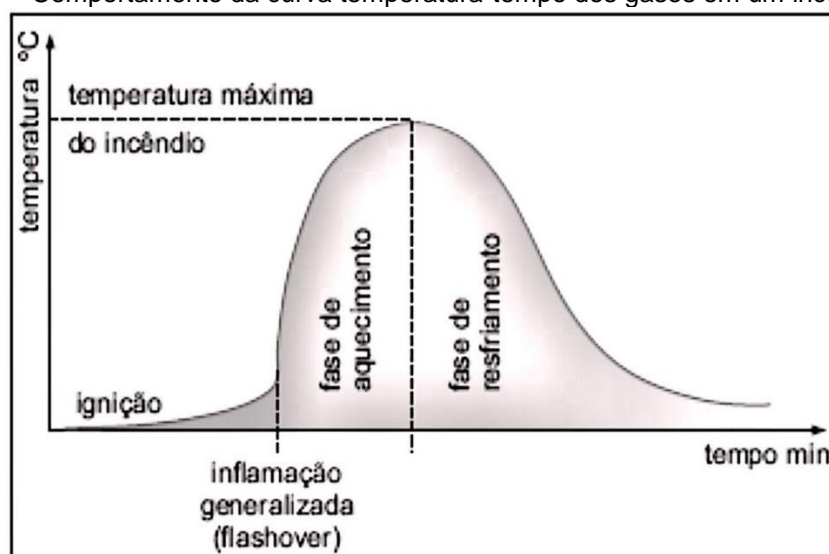
3.8 Modelamento de incêndios

Substancialmente, existem dois modelos de incêndio mais conhecidos como incêndio natural e incêndio padrão.

Incêndio natural é quando as temperaturas dos gases respeitam as curvas temperatura-tempo naturais, adquiridas através de ensaios que simulam a condição real de um compartimento em chamas, considerando aberturas (janelas), simulando-se um ambiente comum, mas bem próximo a realidade.

Não se faz muitos testes devido à dificuldade com as variáveis que podem ocorrer nesse caso, mas com auxílio de alguns softwares se consegue obter resultados próximos à realidade para incêndios naturais.

Figura 9 – Comportamento da curva temperatura-tempo dos gases em um incêndio real



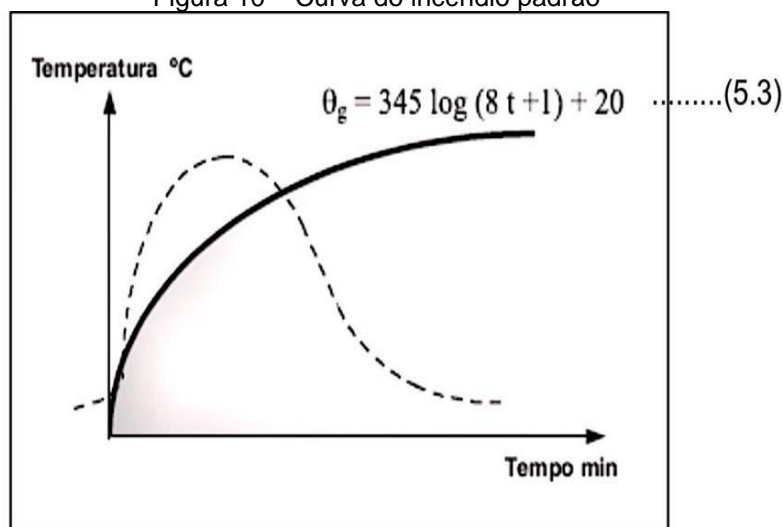
Fonte: Gerken, 2007.

Verificando-se a curva apresentada, identifica-se as fases distintas do incêndio, conforme citado alhures. A ignição acontece, seguida da fase de crescimento. Em determinado momento ocorre o *flashover*, ocasionando o aumento brusco na temperatura, depois disso, entra a fase da queima generalizada e após esse momento, o incêndio começa a decair até chegar sua extinção.

Já no caso de incêndio padrão emprega-se para análises experimentais de estruturas e equipamentos ou materiais antichama, em fornos instalados em laboratórios de pesquisa. A temperatura dos gases do ambiente segue as curvas padronizadas para ensaio, essa curva possui somente um ramo ascendente, onde a temperatura cresce com o tempo, sem que haja fatores intervenientes característicos do ambiente, bem como dos materiais combustíveis.

Nesse modelo é preciso bastante cautela, porque ele não retrata uma situação real, dessa forma todos os resultados obtidos em pesquisas devem ser analisados minuciosamente. Quando elementos estruturais são submetidos a alta temperatura na ocasião de incêndios, estes perdem gradualmente sua rigidez e resistência.

Figura 10 – Curva do incêndio padrão



Fonte: Gerken, 2007.

A temperatura crítica, portanto, ocorre quando vigas, colunas e estruturas em geral atingem uma temperatura limite, sob a ação de um ensaio normatizado. Os valores das temperaturas críticas dependerão das cargas efetivamente aplicadas nas estruturas e das condições de contorno desses elementos, e outros fatores (PANNONI, 2004).

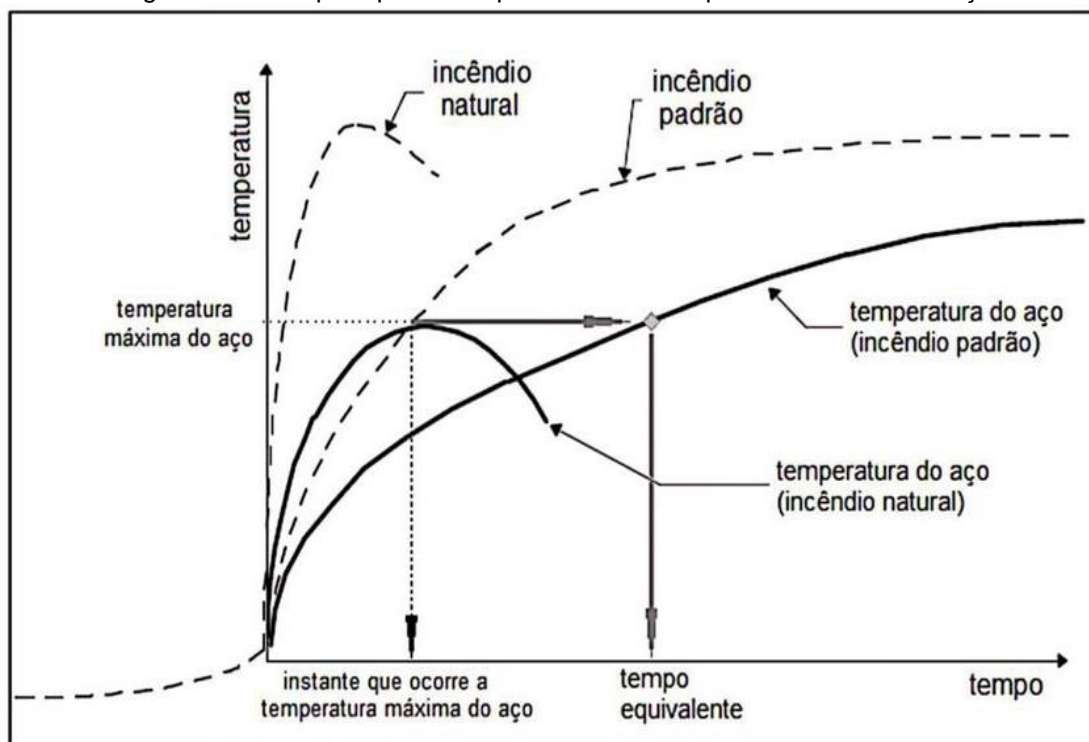
A curva padrão de incêndio e as temperaturas críticas são métodos que facilitam cálculos. Outra opção é o cálculo da curva real de incêndio para cada edificação e o cálculo de temperatura crítica do perfil estrutural, sendo ele contraventamento, vigas ou pilar.

As curvas paramétricas levam em consideração um modelo de incêndio natural e são válidas para compartimentos de até 500 m² de área de piso e 4 metros de altura, sem aberturas horizontais, no teto. Nesse caso, considera-se que todo material inflamável participa do processo de combustão, assim, as curvas paramétricas simulam a situação de incêndio mais próxima da realidade do que as curvas de incêndio padrão (SILVA, 2014).

A severidade do incêndio não depende da estrutura a ser analisada, ou seja, dois incêndios de mesma severidade conduzirão ao mesmo resultado, mesmo que, por exemplo, os perfis metálicos sujeitos a cada um desses incêndios estejam protegidos de maneira diferente (SILVA, 2014).

A gravidade equivalente do incêndio é o tempo de exposição essencial para que a temperatura de um elemento de aço protegido, estabelecida por meio da curva de incêndio-padrão, chegue a mesma temperatura máxima do aço de um compartimento com incêndio natural (ABCEM, 2014). É o que se verifica nessa figura.

Figura 11 – Tempo equivalente pelo conceito temperatura máxima do aço



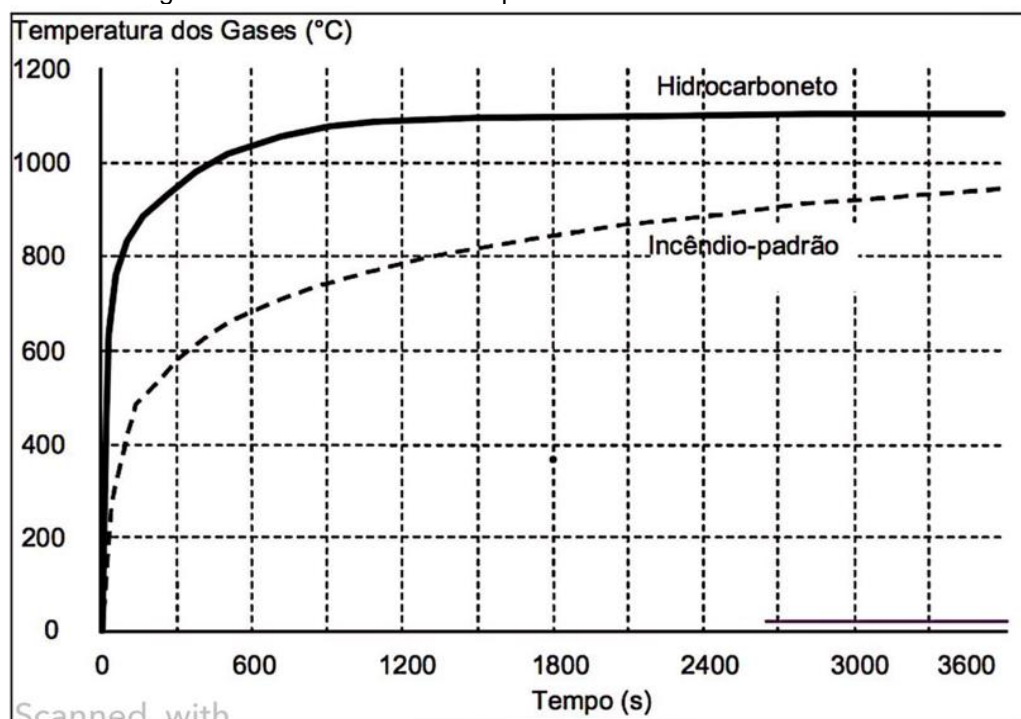
Fonte: Silva, 2004.

Santos explica que:

Um incêndio é composto essencialmente de três fases: ignição, aquecimento (aumento de temperatura) e resfriamento (diminuição da temperatura). O período de maior crescimento da temperatura em um incêndio compartimentado decorre do período seguinte ao “flashover”, ponto esse onde todo material orgânico entra em combustão espontânea (SANTOS, 2017, p. 35).

Referente às curvas padrões de incêndio, tem-se ainda a curva padrão de incêndio de hidrocarboneto, figura 12, para materiais a base de petróleo, até mesmo com mais rigor com relação à temperatura, assim a energia que é transmitida pelo incêndio depende da quantidade e do tipo de combustível presente, das condições de ventilação do ambiente e dos elementos de vedação (BURGESS, 2000).

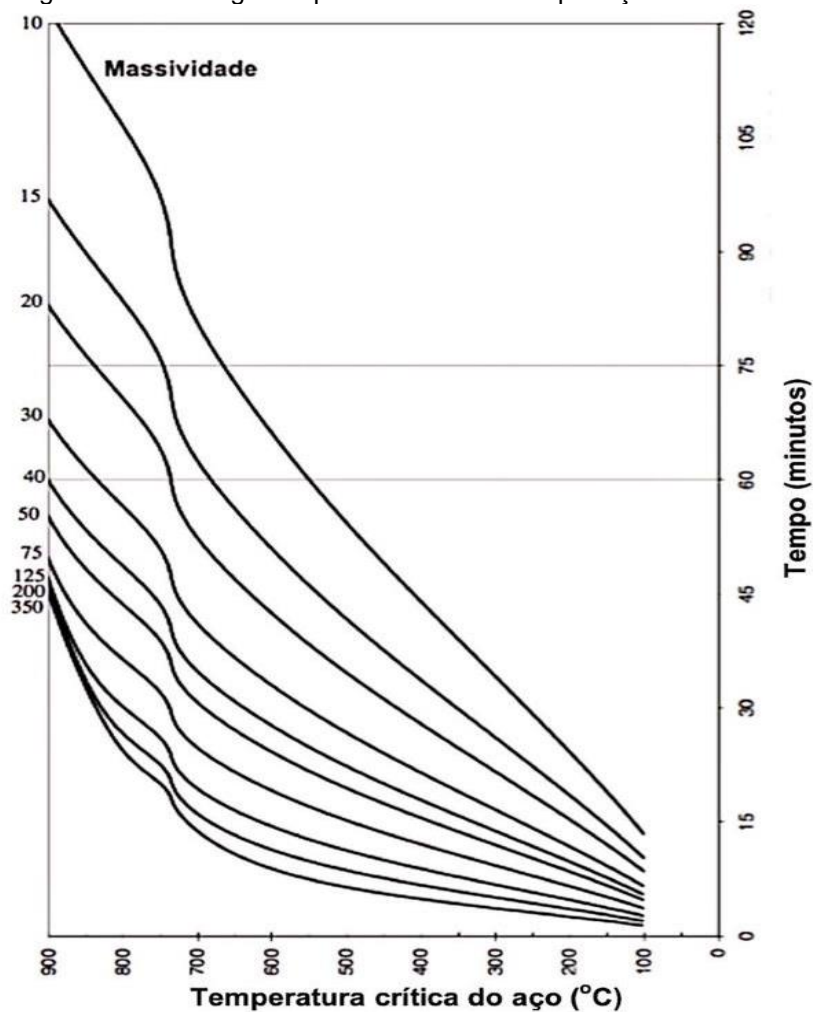
Figura 12 – Curva de incêndio padrão e curva de Hidrocarboneto



Fonte: Silva, 2004.

Quanto maior for o fator de massividade do perfil, sua resistência à temperatura fica menor; já se o perfil estrutural for projetado com alta massa, onde o fator de massividade é baixo, este pode comportar até 30 minutos de fogo sem que atinja a temperatura crítica. Figura que mostra o comportamento do perfil decorrente de sua massa e tempo exposto ao fogo.

Figura 13 – Nomograma para estruturas sem proteção térmica



Fonte: Haller, 2006.

Há programas que calculam as temperaturas de falência em função da sua carga, função estrutural e mensuram ou dispensam de proteção passiva os elementos de uma edificação.

4 METODOLOGIA

Na construção dessa pesquisa, foi adotado um caso real de uma edificação, denominada Centro de Operações Espaciais (COPE) que fica no VI COMAR em Brasília/DF, tratando-se especificamente do Bloco Administrativo contendo uma área de 3.098 m² de construção.

Figura 14 – Fachada Bloco Administrativo

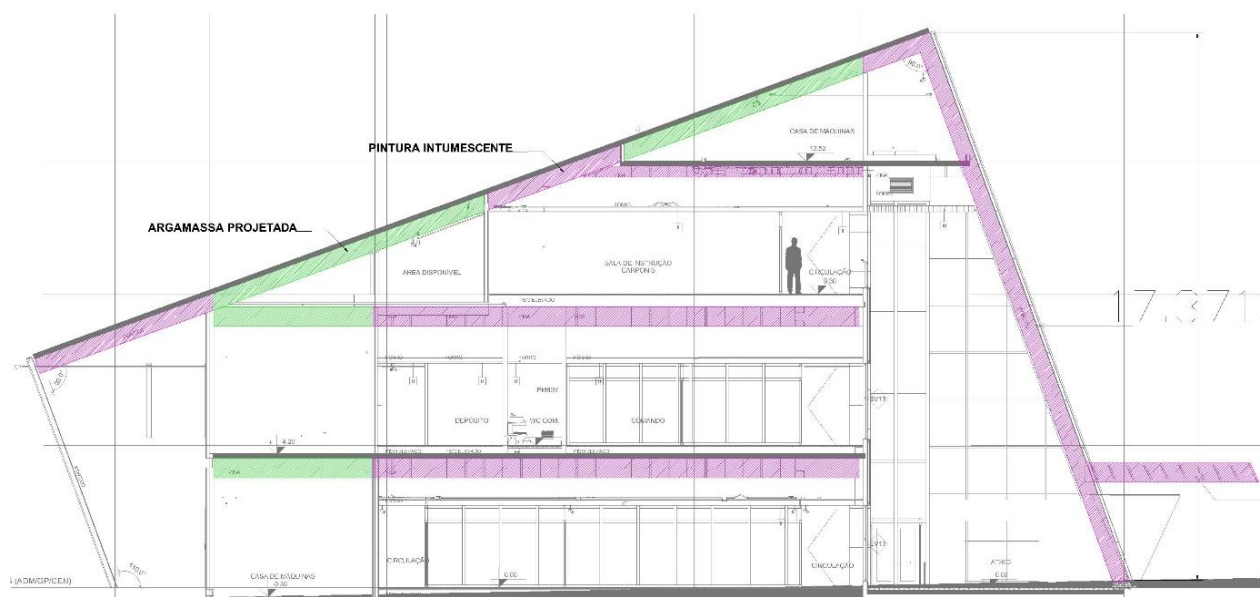


Fonte: almeidafranca.com

Sua estrutura é de aço, tendo como atividade principal assuntos relacionados à administração, contendo térreo, dois pavimentos superiores e uma laje técnica para receber condicionadores de ar, essa edificação está em fase final de construção, o que permitiu acompanhar o processo de aplicação da proteção passiva nos elementos estruturais.

Abaixo apresenta um corte transversal da edificação estudada, indicando o tipo de proteção passiva no decorrer das estruturas.

Figura 15 – Corte Transversal da Edificação



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Neste estudo, não se utilizou modelo computacional, os cálculos foram elaborados por meio de pesquisas às normas europeias como Eurocode e ISO, normas brasileiras e pesquisas sobre materiais no Brasil.

Quanto aos materiais de proteção térmica, como a argamassa ou tinta intumescente, tem seu próprio equipamento. A argamassa projetada se dá por projeção pneumática, em que o material é hidratado e pulverizado pneumaticamente. Não pode conter amianto em sua composição, por conta da elevada toxicidade e risco de causar cânceres em quem estiver em contato. A aplicação da tinta intumescente pode ser feita mediante rolo/ trincha, porém o método que mais se utiliza é através de spray com equipamento *air less*, é bom que se busque um aplicador especializado em proteção passiva contra o fogo e certificado pela ABNT para este fim.

De forma específica o estudo se baseou em uma viga que recebeu aplicação da argamassa projetada e outra com a pintura intumescente, como base para os cálculos no decorrer do projeto.

5 ANÁLISES E RESULTADOS

5.1 Análise da caracterização da edificação

O meio de caracterizar a edificação é definir qual é a carga combustível da edificação, verificando a curva padrão de incêndio compatível com sua carga combustível. Como é um prédio de ocupação principal de escritórios comerciais a curva padrão de incêndio adotada é a celulose que tem como carga de incêndio madeira e outros materiais similares e atinge 1093^o em 4 horas é mais utilizada em prédios comerciais, residências, instituições, todas que não sejam industriais ou que não tenham derivados ou petróleo nas suas etapas de fabricação ou plantas.

A edificação tem altura menor que 23 metros, altura está compreendida entre o último piso habitável e a saída para o logradouro público.

Altura da edificação – altura de 17,73m, assim, inferior a 23 m e conforme tabela 02 - TRRF, se enquadra em Classe P3 – 60 minutos de proteção.

Por ser uma edificação comercial, com escritórios administrativos, seu enquadramento segundo a NBR 14432/2001, tabela 01: Classificação das edificações quanto à sua ocupação é:

Grupo D – Serviços profissionais e Divisão D-1 – Local para prestação de serviços profissionais.

Portanto, a edificação se enquadra em D-1/ P3 e seu TRRF, de acordo com a 02 - TRRF, é de 60 minutos.

5.2 Definição do material mais adequado para o projeto

Neste projeto foi levado em consideração até a exposição ao intemperismo para se verificar qual material de proteção térmica é melhor, analisando cada ocupação da edificação.

Fazendo o cruzamento das plantas de arquitetura e estrutural, avaliou-se qual tipo de laje foi concebida neste projeto, se há alvenarias sob os perfis estruturais, sendo estes itens importantíssimos para o cálculo de fator de massividade, que influencia diretamente na espessura dos materiais de proteção passiva.

De outro modo, preocupa-se com o fato de que se a estrutura ficará visível ou não, se ficarão expostas ao intemperismo, para se estabelecer a correta especificação e garantir a longa duração do sistema como um todo.

No levantamento do quantitativo das estruturas metálicas, a maioria das áreas representam parte visível, fachada. Conforme figura 16.

Figura 16 – Bloco administrativo em fase de construção



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Na avaliação dos perfis para verificar sua vulnerabilidade em relação ao intemperismo, verificou-se que no pavimento térreo e no pavimento superior nem todos os perfis estavam totalmente livres do intemperismo.

Em elementos com necessidade de acabamento externo (pilares e vigas de fachada), aplica-se pintura intumescente a base de solvente.

Os perfis de fachada de vidro, onde a estrutura metálica está presente na arquitetura, representa uma boa porcentagem de proteção. Para estes, foi utilizado pintura intumescente. Conforme figura 17.

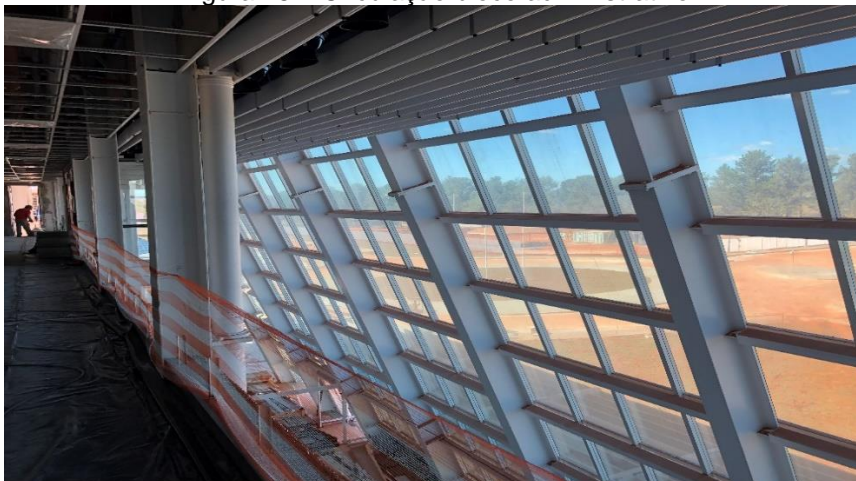
Figura 17 – Fachada de vidro



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Em elementos com necessidade de acabamento interno (pilares e vigas aparentes) aplicação da pintura intumescente a base de água, o que reduz o custo quando comparado a base de solvente.

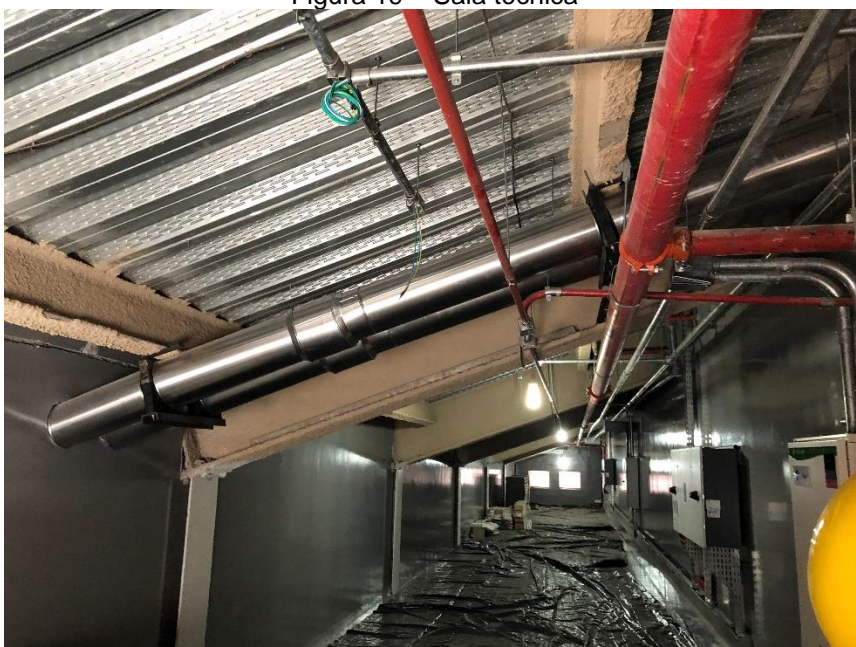
Figura 18 – Circulação bloco administrativo



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Em elementos sem necessidade de acabamento foi utilizado argamassa projetada.

Figura 19 – Sala técnica



Fonte: Arquivo pessoal, 2018.

Em toda estrutura metálica do prédio foi utilizada proteção passiva contra fogo, inclusive na viga de cobertura onde a mesma também é a aparente.

5.3 Cálculo da espessura da argamassa de baixa densidade

Tendo maior fator de massividade, os perfis são mais frágeis em relação ao fogo. Sendo um projeto de proteção passiva, é importante listar todos os perfis que possuem na obra e calcular cada um o fator de massividade.

Viga térreo:

Perfil 1 – W 410x38,8, suas dimensões são:

Alma	Esp. alma	Mesa Sup.	Esp. Mesa sup.	Mesa inf.	Esp. Mesa inf.
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
399	6,4	140	8,8	140	8,8

Área da seção reta:

0,0049 m²

Este perfil tem na mesa superior a laje tipo *steel/ deck*, conforme ilustrado na figura 19 a seguir, assim, o seu perímetro exposto a incidência de energia é:

Perímetro (m) = 1,28

E seu Fator de Forma é:

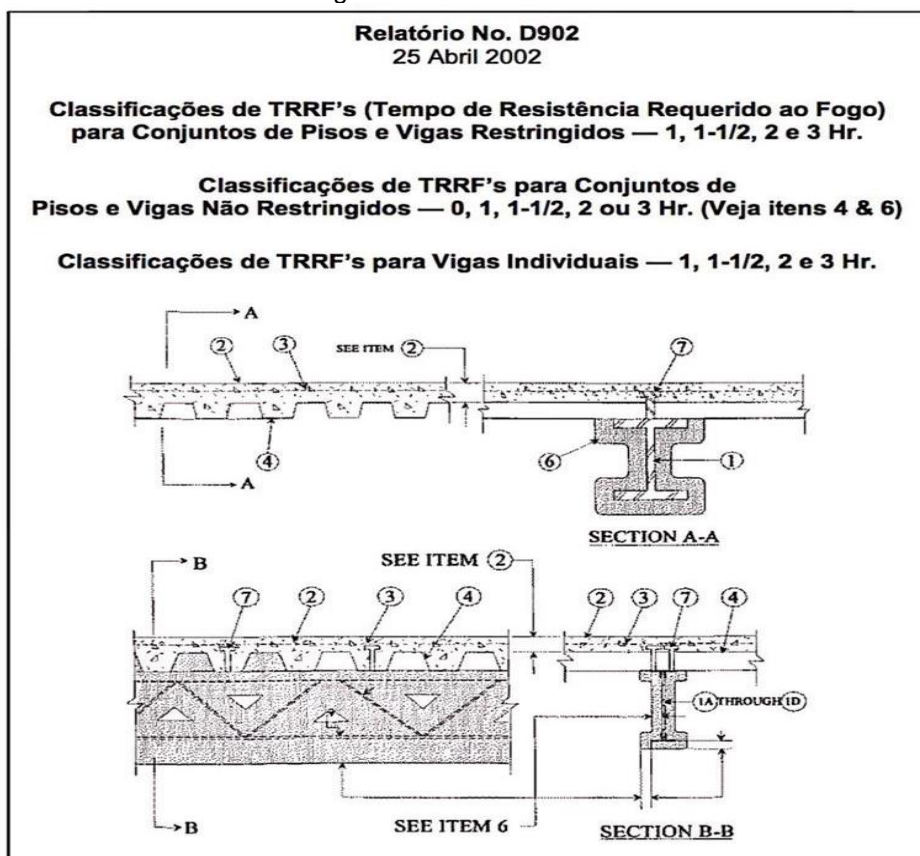
Perímetro (m)/ área da seção transversal (m²) = 261 m-1

Com o enquadramento da edificação, D-1/ P2 de 60 minutos, o perfil estrutural sendo viga principal e o fator de forma sendo 261 m-1, tem-se todos os parâmetros para se calcular a espessura do material de proteção passiva deste elemento estrutural.

Como se trata de lajes que receberão forro, recomenda-se a utilização da argamassa projetada de baixa densidade por ser o que mais se adapta, tendo menor custo e rápida aplicação, apresenta-se, como melhor custo/ benefício.

Há diversos testes na UL (*Underwriters Laboratories*) para este material, servindo a simular cada episódio de construção, por exemplo, laje em concreto, laje em *steel deck*, alveolar, etc., aqui como a laje é tipo *steel deck*, o design da UL que mais se parece é o D902, como se observa na figura 20.

Figura 20 – Teste UL D902



Fonte: UL D902, 2014.

Trocando os valores na fórmula para vigamento, tem-se a espessura de proteção térmica sendo de 9,9 mm de argamassa de baixa densidade, isto é, 10 mm de espessura de material de proteção térmica sobre esta viga.

5.4 Cálculo da espessura da tinta intumescente

Será analisado o mesmo perfil usado para o cálculo de espessura da argamassa projetada para se calcular a espessura da tinta intumescente, dessa forma, o seu fator de forma é:

Perímetro (m)/ área da seção transversal (m²) = 261 m⁻¹, o enquadramento da edificação, portanto, é de 60 minutos.

A *Certifire*, laboratório Europeu, que faz os testes da tinta intumescente, elabora carta de cobertura, que mostra a espessura. Na tabela a seguir a espessura de material de proteção térmica e resultado do tempo de proteção com a massividade do perfil.

Tabela 8 – Carta de cobertura da tinta intumescente

Tres Lados de Proteção para Perfis I - Vigas : NULLIFIRE S707-06							
30 minutos		60 minutos				90 minutos	
Fator de massividade	Espessura seca	Fator de massividade	Espessura seca	Fator de massividade	Espessura seca	Fator de massividade	Espessura seca
m-1	mm	m-1	mm	m-1	mm	m-1	mm
260	0.201	70	0.207	195	0.383	44	0.208
265	0.204	71	0.208	200	0.390	50	0.250
270	0.208	75	0.214	205	0.397	55	0.284
275	0.212	80	0.221	210	0.404	60	0.319
280	0.215	85	0.228	215	0.412	65	0.354
285	0.219	90	0.235	220	0.419	70	0.388
290	0.222	95	0.242	225	0.426	75	0.423
295	0.226	100	0.249	230	0.433	80	0.441
300	0.230	105	0.256	235	0.441	85	0.448
305	0.233	110	0.263	240	0.450	90	0.455
310	0.237	115	0.270	245	0.460	95	0.462
315	0.240	120	0.277	250	0.469	100	0.469
320	0.244	125	0.284	255	0.478	105	0.476
		130	0.291	260	0.488	110	0.483
		135	0.298	265	0.497	115	0.490
		140	0.306	270	0.507	120	0.497

Fonte: Unifrax, 2014.

A espessura de tinta intumescente para este perfil é de 497 micrômetros.

É essencial a realização dos testes dos materiais, para se garantir a eficácia do sistema. Se verifica na boa prática do dimensionamento, na especificação e na aplicação dos materiais de proteção contra fogo, assim como no controle de qualidade dos mesmos, levando-se em conta as limitações de cada sistema, porque assim ver-se-á a confiabilidade da proteção passiva contra fogo como consta no mercado.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou os aspectos relativos aos incêndios, porque de certa forma interferem no comportamento dos materiais, sendo no aço ou no material de proteção utilizado para preservar sua integridade.

Com a realização desse estudo percebe-se que a proteção passiva contra fogo pode ser dimensionada observando-se qual das curvas de incêndio é apropriada, qual elemento estrutural dever ser resguardado, qual material e teste se adapta melhor a cada contexto, assim como mediante aplicação dos materiais, obedecendo-se as espessuras e suas propriedades químicas/ físicas.

Na análise comparativa de tinta intumescente e argamassa projetada, verificou-se que a aplicação da tinta requer maior custo em relação a aplicação de argamassa projetada, sendo a argamassa projetada a solução de proteção térmica mais utilizada no mercado da construção civil.

As aplicações foram feitas de acordo com as normas listadas, o cálculo de espessura realizado neste estudo, condiz com o realizado no projeto e executado.

Para realização de trabalhos futuros, se sugestiona: a análise do desempenho dos materiais de proteção térmica para outros tipos de elementos estruturais através de simulações computacionais; utilização da madeira como material de proteção térmica, haja vista sua capacidade isolante.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14323**: dimensionamento das estruturas de aço de edifício em situação de incêndio. Rio de Janeiro, 1999.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14432**: exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações. Rio de Janeiro, 2001a.

ABRACOPEL. **O que é proteção passiva contra incêndio (PPI)**. Por: Sérgio Roberto Santos e Tatiane Musardo. 2014. Disponível em: <<http://abracopel.org/artigos-tecnicos/o-que-e-protecao-passiva-contra-incendio-ppi/>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. **Sobre o projeto de edifícios em estrutura mista aço-concreto**. Projeto em situação de incêndio. São Carlos, 2000.

ANDRADE, Cleide Cedeni. **Proteção térmica em elementos estruturais de aço**. Florianópolis, 2010. 194 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina.

BURGESS, L. **Structural Steelwork Eurocodes, Introduction to EC3 Fire Engineering**, Sheffield, UK, 2007.

CAFCO (2006). Blaze-Shield II. Spray-Applied Fire Resistive Material. Isoltek Internacional. /folder/.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. São Paulo, 2002.

GERKEN, André Luiz dos Reis. **Materiais de proteção térmica para sistemas construtivos de baixo custo estruturados em aço**. Dissertações de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de engenharia. 2007.

ISO – International Organization for Standardization. **834-10 Fire resistance tests: elements of building construction**. Inglaterra, 2014.

MENDES, Cristiane Lopes. **Estudo teórico sobre perfis formados à frio em situação de incêndio**. USP. São Carlos. 2004.

PANNONI, Fábio Domingos. **Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**. 2ª ed. São Paulo, 2004.

PANNONI, Fábio Domingos. **Aços estruturais**. Artigo técnico. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/17146411-Acos-estruturais-fabio-domingos-pannoni-m-sc-ph-d-1.html>>. Acesso em: 17 mar. 2019.

PANNONI. Fábio Domingos. **Coletânea do uso do aço**. Princípios da proteção de estruturas metálicas em situação de incêndio. 4. ed. São Paulo, 2007.

PCF Soluções. 2007. Disponível em: < <http://pcf.com.br/artigos-tecnicos>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

PEIXOTO, Wesley. **A busca da qualidade em proteção passiva contra fogo de estruturas**. São Paulo, 2017, Artigo Técnico no site da ABNT.

PERUCCELO. PORTAL DA METÁLICA. **Proteção de estruturas metálicas frente ao fogo**. Rio de Janeiro, 2017.

SANTOS, Vladmir Alves. **Proteção passiva contra fogo em estruturas metálicas em prédio comercial**. Escola politécnica da Universidade de São Paulo. 54 p. 2017.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 56.819, de 10 de março de 2011**. Regulamento de Segurança contra Incêndio das edificações e áreas de risco no Estado de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, Valdir Pignatta. **Estrutura de aço em situação de incêndio**. Reimpressão. São Paulo, 2004.

SILVA, Valdir Pignatta; VARGAS, Mauri Resende; ONO, Rosária. **Prevenção contra incêndio no projeto de arquitetura**. Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, Valdir Pignatta. **Revisão histórica das curvas padronizadas de incêndio**. São Paulo, 2006.

SILVA, Valdir Pignatta; MELÃO, A. R. **Proteção das estruturas – corrosão e incêndio**, ABCEM, São Paulo, 2014.

SOARES, Cláudio Henrique. **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados à frio em situação de incêndio**. UFMG. Belo Horizonte. 2002.

SOARES, Éderson Freitas. **Aspectos gerais dos sistemas de proteção contra incêndio em estruturas metálicas**. Monografia. Centro Universitário de Brasília. 2014.

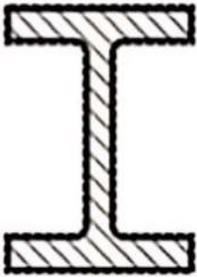
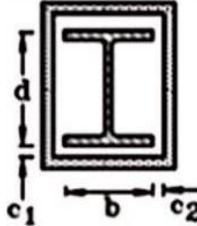
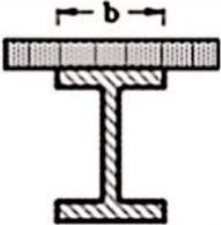
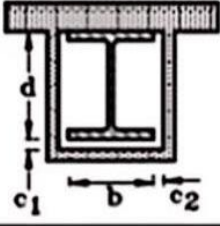
UL – Underwriters Laboratories. **Fire Resistance Directory, Volume 1, Underwriters Laboratory Inc.**, Estados Unidos, 2001.

UL – Underwriters Laboratories. **Designe UL D902, Underwriters Laboratory Inc.**, Estados Unidos, 2012.

ANEXO I – PAVIMENTO TÉRREO

Eixo	Bitola	Massa Linear	Qtd.	Comp. (m)	Estrutura	Laje	Alvenaria (mm)	Substrato Epóxi	Local	TRRF (mm.)	Tipo Produto	Per. (m)	u/A (m-1)	Área (m2)	Tinta Intumescente	Argamassas Projetadas		
BLOCO ADM														m2	ESP	m2	ESP	m2
V145	W	460x52	3	7,31959486	Viga Sec	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	Caíco 300	1,42	218	31,11		9,05762178	31,11	
V154	W	310x28,3	3	4,7144606	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	0,96	272	13,62	1990	13,62		
V155	W	530x66	3	4,7869215	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	1,61	196	23,12	1558	23,12		
V156	W	410x38,8	3	4,91902888	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	Caíco 300	1,28	261	18,82		9,89586809	18,82	
V158	W	250x17,9	2	4,94684658	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	0,85	381	8,37	2750	8,37		
V160	W	460x74	1	14,3146866	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	Caíco 300	1,56	168	22,35		10	22,35	
V171	W	410x38,8	3	4,85350667	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	Caíco 300	1,28	261	18,57		9,89586809	18,57	
V173	W	610x125	1	15,0909079	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	2,00	128	30,21	1085	30,21		
V174	W	250x17,9	2	1,62306976	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	0,85	381	2,75	2750	2,75		
V175	W	310x38,7	4	6,02590412	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	1,19	245	28,58	1839	28,58		
V176	W	310x28,3	1	6,06730582	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	Caíco 300	0,96	272	5,84		10,088429	5,84	
V179	W	410x38,8	1	7,33567234	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	1,28	261	9,35	1940	9,35		
V183	W	310x28,3	2	3,77192108	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	0,96	272	7,26	1990	7,26		
V186	W	310x38,7	2	3,46410857	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	1,19	245	8,22	1839	8,22		
V188	W	410x38,8	3	6,6121126	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	Blaze Shield	1,28	261	25,30		10	25,30	
V190	W	360x79	1	14,7570084	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	Caíco 300	1,41	144	20,76		10	20,76	
V191	W	610x125	2	14,7481652	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	2,00	128	59,04	1085	59,04		
V193	W	530x66	2	10,3976189	Viga Sec	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	Caíco 300	1,61	196	33,47		10	33,47	
V203	W	530x66	1	6,63516021	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	1,61	196	10,68	1558	10,68		
V204	W	460x52	1	6,21456289	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	Caíco 300	1,42	218	8,80		9,05762178	8,80	
V208	W	530x66	1	6,18670061	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	1,61	196	9,96	1558	9,96		
V213	W	360x79	1	14,6411568	Viga Princ	Steeldeck	0	Epóxi	Int	60	IC600WB	1,41	144	20,60	1200	20,60		

ANEXO II – FATOR DE MASSIVIDADE PARA ALGUNS ELEMENTOS ESTRUTURAIS COM REVESTIMENTO CONTRA FOGO (EXTRAÍDA NA NBR 14323)

Situação	Descrição	Fator de massa (u _g /A)
	Seção com proteção tipo contorno, de espessura uniforme exposta ao incêndio por todos os lados	$\frac{\text{perímetro da seção da peça de aço}}{\text{área da seção da peça de aço}}$
	Seção com proteção tipo caixa, de espessura uniforme exposta ao incêndio por todos os lados	$\frac{2(d - c_1 - b - c_2)}{\text{área da seção da peça de aço}}$
	Seção com proteção tipo contorno, de espessura uniforme exposta ao incêndio por três lados	$\frac{\text{perímetro da seção da peça de aço} - b}{\text{área da seção da peça de aço}}$
	Seção com proteção tipo caixa, de espessura uniforme exposta ao incêndio por três lados	$\frac{2d + c_1 + b + 2c_2}{\text{área da seção da peça de aço}}$

Fonte: ABNT, 2003, p.36.